

N O T I C E

THIS DOCUMENT HAS BEEN REPRODUCED FROM
MICROFICHE. ALTHOUGH IT IS RECOGNIZED THAT
CERTAIN PORTIONS ARE ILLEGIBLE, IT IS BEING RELEASED
IN THE INTEREST OF MAKING AVAILABLE AS MUCH
INFORMATION AS POSSIBLE

E82-10080

CR-168401

RECEIVED BY

NASA STI FACILITY

DATE: SEP 15 1981

DOAF NO. 002949

PROCESSED BY

☒ NASA STI FACILITY

☐ ECA-SDS ☐ AIAA

"Made available under NASA sponsorship
in the interest of early and wide dis-
semination of Earth Resources Survey
Program information and without liability
for any use made thereof."

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDENCIA DA REPUBLICA

(E82-10080) THE LANDSAT SYSTEM OPERATED IN

N82-20603

BRAZIL BY CNPQ/INPE - RESULTS OBTAINED IN

THE AREA OF MAPPING AND FUTURE PERSPECTIVES

(Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose)

Unclass

45 p HC A03/MF A01

CSCI 05B G3/43

00080



CNPq

CONSELHO NACIONAL
DE DESENVOLVIMENTO
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Classificação INPE-COM. 9/PRE C.D.U.: 528.711.7:528.9:553.3/.9		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) SENSORIAMENTO REMOTO CARTOGRAFIA RECURSOS NATURAIS		interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>	
5. Relatório nº INPE-2191-PRE/003	6. Data Julho, 1981	7. Revisado por <i>Nelson</i>	
8. Título e Sub-Título O SISTEMA LANDSAT OPERADO NO BRASIL PELO CNPq/INPE - RESULTADOS OBTIDOS NA ÁREA DE CARTOGRAFIA E PERSPECTIVAS FUTURAS		9. Autorizado por <i>Nelson</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DPR	Código	11. Nº de cópias 08	
12. Autoria Marcio Nogueira Barbosa		14. Nº de páginas 44	
13. Assinatura Responsável <i>Marcio</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas O sistema LANDSAT, operado no país pelo CNPq/INPE desde 1973, adquire, produz e distribui, sistematicamente, imagens multiespectrais e pancromáticas, obtidas por satélites, a milhares de pesquisadores e técnicos, envolvidos no levantamento de recursos naturais. O CNPq/INPE, na tentativa de colaborar na solução de problemas nacionais, vem desenvolvendo esforços na área de manipulação dessas imagens a fim de torná-las úteis como bases planimétricas, quer seja para a simples revisão de cartas já publicadas ou mesmo para a sua utilização como material básico em regiões ainda não mapeadas com confiabilidade. O presente trabalho apresenta os resultados obtidos com essas experiências e as limitações existentes. Além disso, apresenta, como perspectivas futuras, o novo sistema LANDSAT adquirido pelo CNPq/INPE para manusear dados da futura série de satélites LANDSAT e os próximos satélites estrangeiros que estarão em operação, ainda na década de 80, projetados, não só para o levantamento de recursos naturais, como também para a solução de problemas cartográficos.			
17. Observações Trabalho preparado para o 10º Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília - DF, Brasil - 19 a 24 de julho de 1981.			

INDICE

	<u>Pág.</u>
ABSTRACT	iv
LISTA DE TABELAS	v
<u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO II - O PROCESSAMENTO NORMAL ("BULK") E AS EXPERIÊNCIAS DE SENVOLVIDAS</u>	5
2.1 - Informações básicas sobre o processo de aquisição	5
2.2 - Características principais do processamento normal ("Bulk") das fitas gravadas em filme 70 mm	6
2.2.1 - Processo de Calibração	6
2.2.2 - Correções aplicadas à imagem durante o processamento	8
2.3 - Experiências do CNPq/INPE com a DEPV e DSG	12
2.4 - Situação atual do processamento "Bulk"	14
<u>CAPÍTULO III - O PROCESSAMENTO DE PRECISÃO ("PRECISION") E AS EX PERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS</u>	17
3.1 - Características principais do processamento de precisão ...	17
3.2 - Limitações presentes no modelo atual do INPE.....	19
3.3 - Alguns resultados do processamento de precisão no exterior.	21
<u>CAPÍTULO IV - O LANDSAT-D E O NOVO SISTEMA DE PROCESSAMENTO DO INPE</u>	23
4.1 - Características do "Thematic Mapper"	23
4.2 - O sistema de processamento do INPE	27
<u>CAPÍTULO V - FUTUROS SATÉLITES ARTIFICIAIS, AINDA NA DÉCADA DE 80, VOLTADOS PARA O MAPEAMENTO</u>	31
5.1 - O MAPSAT	32
5.2 - O SPOT	35
<u>CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	41
AGRADECIMENTO	43
BIBLIOGRAFIA	45

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

ABSTRACT

The LANDSAT system, operated in the country by CNPq/INPE since 1973, systematically acquires, produces and distributes both multispectral and panchromatic images, obtained through remote sensing satellites, to thousands of researchers and technicians involved in the natural resources survey. CNPq/INPE, trying to cooperate in the solution of national problems, is developing efforts in the area of manipulation of those images with the objective of making them useful as planimetric bases for the simple revision of already published maps or for its utilization as basic material in regions not yet reliably mapped. This report presents the results obtained from performed tests and the existing limitations. Besides, it presents, as forthcoming view, the new LANDSAT system purchased by CNPq/INPE to handle data from the next series of LANDSAT and foreign satellites, which will be in operation within 80's decade, designed not only for the natural resources survey but also for the solution of cartographic problems.

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
II.1 - Correções Geométricas Aplicadas aos dados MSS	10
IV.1 - Bandas do "Thematic Mapper"	24
IV.2 - Aplicações principais do TM	25
IV.3 - Precisões Geométricas em MSS/TM - Processo "Bulk"	26
V.1 - Modos de Aquisição do MAPSAT	33
V.2 - Faixas Espectrais do SPOT	36

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Brasil ainda não é totalmente conhecido principalmente com respeito a seus recursos naturais. Com uma área de aproximadamente 8.500.000 km², possui grandes áreas de difícil acesso e baixa densidade de população, tornando quase impossível estudá-lo por métodos convencionais. Essas características do país determinam a utilização de sistemas de coleta de dados que apresentem os seguintes fatores:

- cobertura total do país;
- baixa relação custo/benefício;
- obtenção de dados em tempo reduzido, logo após a aquisição;
- frequente obtenção de dados sob a mesma região.

Consequentemente, dados de satélites de sensoriamento remoto, como os da série LANDSAT, tornaram-se ferramentas efetivas no país. O conhecimento sobre seus recursos renováveis e não renováveis e o próprio monitoramento das modificações em seu meio ambiente podem ser feitos, agora, de maneira mais rápida e a custos reduzidos.

O sistema LANDSAT, operado no país pelo CNPq/INPE, desde 1973, adquire, processa e distribui, sistematicamente, imagens multiespectrais e pancromáticas, obtidas pelos satélites dessa série LANDSAT, a milhares de pesquisadores e técnicos, do país e do exterior, envolvidos no levantamento de recursos naturais e monitoramento do meio ambiente. Para se ter uma idéia da grande utilização desses dados no país basta dizer que o sistema brasileiro, desde 1978, ocupa o 2º lugar no mundo, após somente os EUA, em volume de dados distribuídos. E hoje, a comunidade internacional dispõe de sistemas LANDSAT em operação, além dos do Brasil e EUA, no Canadá, Japão, Itália, Suécia, Argentina, Austrália, Índia e África do Sul.

Da mesma forma que os recursos naturais ainda não são totalmente conhecidos pode-se dizer que o país ainda está pobremente mapeado. Para solucionar o problema cartográfico, em determinadas escalas, o Governo estabeleceu o Plano de Dinamização da Cartografia, com metas, até certo ponto, ambiciosas, para quem conhece as dificuldades existentes.

O CNPq/INPE, na tentativa de colaborar na solução de problemas nacionais - como o cartográfico -, vem desenvolvendo esforços na área de manipulação dos dados LANDSAT, a fim de torná-los de maior utilidade na área de cartografia. Se na cartografia temática a precisão geométrica pode ser até relegada a segundo plano, na cartografia convencional esta precisão é de fundamental importância. E, utilizar um satélite de levantamento de recursos naturais em cartografia não é tarefa das mais fáceis. Apesar disso, países que mantêm sistemas LANDSAT, estão, já há algum tempo, trabalhando com maior ênfase na área de precisão geométrica das imagens.

Ainda dentro dessa conscientização e considerando que certos países ainda não tinham, naquele momento, uma conveniente base topográfica para a aplicação dos resultados de seus estudos, a Segunda Conferência Cartográfica Regional das Américas, patrocinada pela ONU e realizada na Cidade do México, em setembro de 1979, recomendou que as Nações Unidas e os Estados Membros deveriam solicitar, aos países operadores de sistemas de aquisição e processamento de imagens, esforços para garantir que as imagens distribuídas fossem de precisão geométrica suficiente para serem mais efetivamente usadas como mapas-base.

O CNPq/INPE, em colaboração com outras agências governamentais (como a DEPV do Ministério da Aeronáutica e a DSG do Ministério do Exército), vem desenvolvendo estudos para o estabelecimento de métodos de utilização de dados, obtidos por satélites de sensoriamento remoto, de forma mais eficiente na área cartográfica.

Embora levando em conta as limitações que serão apresentadas a seguir, hoje, tem-se certeza que esses dados podem ser utilizados como confiáveis bases planimétricas, quer sejam para a simples revisão de cartas já publicadas, quer para a sua utilização como material básico em regiões ainda não convenientemente mapeadas.

O presente trabalho apresenta os resultados obtidos até o momento pelo CNPq/INPE e as experiências adquiridas nessa área. Além disso, e como perspectivas futuras, apresenta o novo sistema de gravação e processamento de dados do CNPq/INPE a ser instalado no país em meados de 1983, para manusear dados da próxima geração de satélites LANDSAT (D e D'), e informações sobre os próximos satélites estrangeiros que estarão em operação, ainda na década de 80, projetados não só para o levantamento de recursos naturais, como também para a solução de alguns problemas cartográficos.

CAPÍTULO II

O PROCESSAMENTO NORMAL ("BULK") E AS EXPERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS

2.1 - INFORMAÇÕES BÁSICAS SOBRE O PROCESSO DE AQUISIÇÃO

Os sinais do satélite LANDSAT são adquiridos, no país, através da Estação de Recepção e Gravação de Dados de Cuiabá, localizada estrategicamente para permitir a cobertura não só de todo território brasileiro, como também de vários países vizinhos.

Diariamente, são gravados dados de duas passagens de cada satélite em operação. Cada passagem, dentro do alcance da estação brasileira, possui, em média, cerca de 12 minutos de gravação, que correspondem ao recobrimento de uma área com aproximadamente 850.000 km². Os dados são gravados em fitas magnéticas que são enviadas, via aérea, para São Paulo e, posteriormente, via terrestre, para Cachoeira Paulista, onde localiza-se o Centro de Processamento.

As características dos atuais LANDSAT (altitude, inclinação da órbita, etc.) permitem a cobertura de uma dada região a cada 18 dias (ou 9 dias, quando 2 satélites operam simultaneamente). Assim, são possíveis, pelo menos, cerca de 20 observações por ano, em qualquer área de interesse, dentro do raio de cobertura da estação receptora.

Atualmente, dados do sensor multispectral (MSS) estão sendo obtidos através do satélite LANDSAT-2 e dados do sensor pancromático (RBV) estão sendo obtidos através do LANDSAT-3.

As imagens obtidas através do sensor MSS têm uma resolução de aproximadamente 80 metros, ou seja, a cada 80 metros de uma dada linha de varredura, são obtidas informações referentes às características espectrais daquela área. Além disso, para cada área, quatro

diferentes imagens (bandas) são obtidas, situadas nas faixas do verde ao infra-vermelho próximo. Essas bandas espectrais são normalmente chamadas canais.

As imagens obtidas continuamente pelo sensor MSS são posteriormente formatadas, durante o processamento, em quadros de 185 x 185 km, cobrindo, portanto, uma área de mais de 34.000 km².

As imagens do sensor RBV são pancromáticas, dentro da faixa do visível, e são obtidas instantaneamente. O sistema RBV é composto de duas câmaras adjacentes, cada uma observando uma área de aproximadamente 99 x 99 km. Com isso, quatro imagens (sub-cenas) RBV cobrem aproximadamente a mesma área coberta por uma cena obtida pelo MSS.

A resolução das imagens RBV do LANDSAT-3, devido, entre outras coisas, à nova distância focal, é de cerca de 30 metros, ou seja, quase três vezes a existente nas do sensor MSS.

2.2 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO PROCESSAMENTO NORMAL ("BULK") DAS FITAS GRAVADAS EM FILMES 70 MM

Para um melhor entendimento do método utilizado para converter os dados gravados nas fitas magnéticas em filme de alta resolução de 70 mm é descrito, abaixo, o processo inicial de calibração geométrica. Embora para ambos os dados dos sensores MSS e RBV os procedimentos sejam semelhantes, somente dados do sensor MSS serão apresentados.

2.2.1 - PROCESSO DE CALIBRAÇÃO

Os filmes originais são produzidos em um Gravador de Imagem por Feixe Eletrônico (EBIR - Electron Beam Image Recorder), onde o filme é exposto diretamente por elétrons disparados de um canhão eletrônico, de um modo semelhante ao que se observa em um tubo de TV.

Assim, como o aparelho de TV, o EBIR possui um sistema de deflexão ótico/eletrônico/magnético que apresenta distorções intrínsecas e, por outro lado, possui compensações magnéticas e eletrônicas que permitem reduzir essa distorção. No caso do EBIR, é claro, essas compensações são muito mais sofisticadas, admitindo correções programáveis sobre toda a área útil da imagem. Essas correções são programadas pelo computador que controla o processamento e determinadas, previamente, a partir de medidas efetuadas sobre uma grade padrão, com a apresentada na Figura II.1, produzida no EBIR a partir de um gerador de padrões. Esta grade possui 81 pontos de cruzamento.

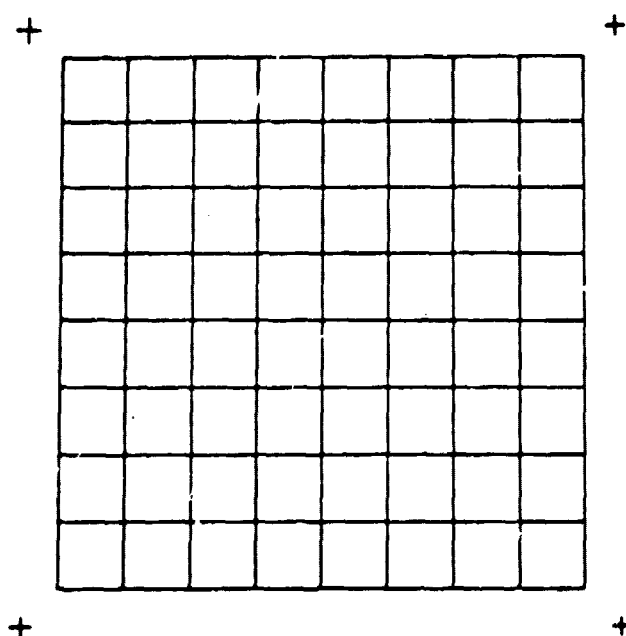


Fig. II.1 - Grade Padrão.

As medidas são efetuadas sobre uma ampliação dessa grade, produzida num ampliador especial de fator de ampliação fixo e igual ao necessário para fornecer uma ampliação em escala 1:1.000.000 a partir do original 70 mm (escala 1:3.704.000). O aparelho de medida é um digitalizador Datagrid ligado ao computador, que recebe os valores medidos e calcula as correções a serem aplicadas em cada cruzamento de linhas, com o objetivo de levar a grade padrão à geometria ideal. O esquema a seguir, Figura II.2, onde se apresenta uma simplificação da grade padrão, exagerando-se a distorção, e a grade ideal em pontilhado, as sinala essas correções.

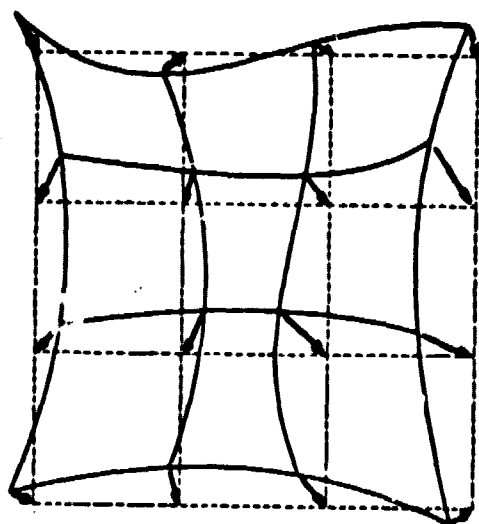


Fig. II.2 - Grade Simplificada.

As correções assim calculadas são armazenadas numa Fita de Correções que é utilizada durante a produção de filmes. Na prática, a medição da grade padrão é repetida duas ou três vezes, em iterações sucessivas, sendo que de cada vez as novas correções são adicionadas às anteriores, produzindo uma nova Fita de Correções que é utilizada para gerar uma nova grade padrão, mais próxima da grade "ideal". Este ciclo é repetido até que o relatório de erros residuais, emitido pelo computador depois de cada medição, indique um valor RMS menor que 20 μ . Este valor foi escolhido por corresponder à resolução do próprio aparelho Datagrid associada aos erros humanos durante a medição. Assim, garante-se que as imagens LANDSAT produzidas, utilizando a última Fita de Correções, estarão livres de distorções sistemáticas. Este processo, denominado Calibração Geométrica, é efetuado sempre que se substitui uma peça do canhão eletrônico do ERIR, que se desgasta com o uso.

2.2.2 - CORREÇÕES APLICADAS À IMAGEM DURANTE O PROCESSAMENTO

Tomando-se como concluído o processo de calibração, inicia-se o processo de geração de uma fita, chamada ICT (Image Correction Tape) obtida a partir de dados de telemetria, gravados em Cuiabá simultaneamente com a gravação dos dados de vídeo, e de informações de efêmerides geradas a partir de dados orbitais do satélite, transmitidos

por telex a cada dois dias pela NASA. Para cada órbita a ser processa da uma ICT é gerada para ser introduzida, durante a geração do filme, no gravador de filme EBIR.

Com as informações de atitude do satélite, obtidas a par tir da ICT, e conhecendo outras próprias do sensor (no caso o MSS) e do satélite, é possível gerar imagens em filme onde distorções devido a es tes fatores são compensadas ou minimizadas.

No caso do processamento normal ("bulk"), o sistema de projeção utilizado, no sistema brasileiro, é o chamado Perspectiva Es pacial por Faixas, utilizado pela NASA até fevereiro de 1975, quando então decidiram utilizar a projeção HOM (Hotine Oblique Mercator).

A Tabela II.1 apresenta as correções geométricas (parâme tros) aplicadas no modo normal de processamento, para minimizar distor ções mais significativas.

Sumarizando, a precisão geométrica das imagens a partir do processamento "bulk" é função dos seguintes fatores:

- a) da qualidade dos dados existentes na fita de efemérides;
- b) da qualidade dos dados de telemetria (erros não previsíveis na detecção de "roll, pitch e yaw" do satélite);
- c) do modelo de projeção utilizado;
- d) dos erros sistemáticos do sistema e/ou imprecisões de hardware e software;
- e) das distorções fotográficas; e
- f) dos erros sistemáticos internos dos sensores (não linearidade, off-sets, etc), embora consideradas do software.

TABELA II.1

CORREÇÕES GEOMÉTRICAS APLICADAS AOS DADOS MSS

PARAMETER	GEOMETRIC FOOTPRINT	MAGNITUDE OF CORRECTION - METERS ON THE GROUND	PARAMETER	GEOMETRIC FOOTPRINT	MAGNITUDE OF CORRECTION - METERS ON THE GROUND
SCALE ADJUSTMENT - ALTITUDE VARIATIONS WITHIN A FRAME 9 CORRECTIONS WITHIN THE FRAME		$\Delta X = 0.26 \times 10^4 \frac{\Delta H}{H_0}$ (AT EDGE OF FRAME)	SPECTROGRAPH OFFSETS		$\Delta X = 112 \text{ METERS}$
ATTITUDE VARIATIONS WITHIN A FRAME ROLL 9 CORRECTIONS WITHIN A FRAME		$\Delta X = 0.3 \Delta \theta$	SCAN MIRROR VELOCITY CORRECTION		$\Delta X_{\text{MAX}} = 306 \text{ METERS}$
PITCH 9 CORRECTIONS WITHIN A FRAME		$\Delta Y = 0.3 \Delta \theta$	PERSPECTIVE CORRECTIONS SWEEP TO FRAME IN DIRECTION OF SCAN		$\Delta X_{\text{MAX}} = 116 \text{ METERS}$
YAW 9 CORRECTIONS WITHIN A FRAME		$\Delta X = 0.02 \times 10^4 (\Delta \alpha)^2$ $\Delta Y = 0.26 \times 10^4 \Delta \alpha$	FRAME CORRECTION IN DIRECTION OF SPACECRAFT TRAVEL - REGR CORRECTION		$\Delta Y_{\text{MAX}} = 64 \text{ METERS}$
IMAGE SKEW CAUSED BY EARTH ROTATION FUNCTION OF LATITUDE		$\Delta X = 0.00 \times 10^4 \phi_{ER}$	ALIGNMENT CORRECTIONS - RELATIVE ALIGNMENT OF MSS TO AXIS ROLL		$\Delta X = 0.3 \Delta \theta$
AVERAGE VELOCITY CHANGE FROM NOMINAL		$\Delta Y = 0.00 \times 10^4 \frac{\Delta V}{V_0}$ (AT TOP AND BOTTOM OF FRAME)	PITCH		$\Delta Y = 0.3 \Delta \theta$
IMAGE SKEW CAUSED BY FINITE SCAN TIME		$\Delta X = 214 \text{ METERS}$	YAW		$\Delta X = 0.00 \times 10^4 \Delta \alpha$ $\Delta Y = 0.26 \times 10^4 \Delta \alpha$

Nas imagens "bulk" o nível de correção geométrica é indicado na anotação, logo abaixo da escala de cinza e, operacionalmente, tenta-se corrigir as imagens, levando-se em conta os fatores mencionados acima.

Deve ser ainda frizado que o posicionamento perfeito das marcas de latitude e longitude ("tick-marks") na imagem é função direta da precisão dos dados de efemérides. Esta precisão foi originalmente definida pela NASA como sendo 370 m "along track" e 70 m "cross track". Entretanto, mesmo no sistema de geração de imagens "bulk" dos EUA, erros de até 2,0 km no posicionamento das marcas de latitude e longitude (principalmente latitude) são encontrados e considerados satisfatórios. O Canadá, por exemplo, aceita erros de até 10 km no posicionamento da imagem "bulk".

Assim, devemos adotar, como filosofia, que as marcas de coordenadas devem ser usadas somente como referência aproximada no posicionamento. O mais importante, sem dúvida, é a precisão ou geometria interna da imagem.

Por outro lado, e com o conhecimento perfeito das variações dos parâmetros que influenciam a geometria da imagem, é possível obter-se imagens com reduzidos erros internos.

Experiência em andamento pelo USGS (U. S. Geological Survey) mostram que, se erros sistemáticos forem identificados e eliminados, pode-se chegar a erros médios internos inferiores a 100 metros na imagem "bulk". O procedimento de medição de tal erro é baseado na verificação da porcentagem de variação da escala ("affine") em diferentes direções ("along track, cross track, across diagonals", etc.), utilizando pontos de controle bem distribuídos na imagem e extraídos de

mapas na escala 1:50.000. Ou seja, para detecção dos erros sistemáticos e sua possível remoção é necessário que se tenha mapas de boa qualidade e atualizados na escala 1:50.000.

O valor do erro encontrado nas imagens "bulk", produzido pelo EROS Data Center, é de 160 metros, que pode ainda ser reduzido, segundo esta agência, com a aplicação adicional de correções de escala, relação de aspecto, entre outras.

Experiências foram levadas à frente pelo INPE com esse objetivo, ou seja, reduzir erros sistemáticos para que as imagens "bulk" fossem compatíveis com mapas na escala de 1:250.000. Na época, o modo de precisão, que será visto mais adiante, estava ainda sendo desenvolvido e testado pelo grupo de software do CNPq/INPE.

2.3 - EXPERIÊNCIAS DO CNPq/INPE COM A DEPV E DSG

Para dar andamento às experiências visando a remoção de erros sistemáticos nas imagens "bulk" e sua utilização como base na escala 1:250.000, dois projetos-piloto foram estabelecidos: um com a Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo - DEPV, do Ministério da Aeronáutica, e outro com a Diretoria de Serviço Geográfico - DSG do Ministério do Exército.

Como resultado final esperava-se obter imagens com erros médios entre 100 e 150 metros, para serem diretamente utilizadas como bases planimétricas de cartas em 1:250.000.

Para o caso da DEPV a área escolhida foi a carta de Volta Redonda (Carta Aeronáutica de Pilotagem) e as imagens foram utilizadas não só como base planimétrica, como também para a extração de alguns temas. Como responsabilidade do CNPq/INPE foram fornecidos à DEPV dois mosaicos (bandas 5 e 7) na escala 1:1.000.000, reunindo as duas imagens necessárias para cobrir a carta de Volta Redonda. Estes mosaicos foram posteriormente ampliados e retificados através de métodos con

vencionais para a escala 1:250.000, utilizando-se o equipamento Zeiss Seg V. A partir daí, foram efetuadas as operações de extração de temas, separação de cores, simbolização, etc., estando todas essas operações sob responsabilidade da DEPV.

O produto final, CAP-9489 experimental de Volta Redonda, foi apresentado no 14º Congresso Internacional da Sociedade Internacional de Fotogrametria, em Hamburgo, em julho de 1980, através do trabalho intitulado "LANDSAT Images as Planimetric Bases for Aeronautical Charts".

Considerações importantes, descritas no trabalho apresentado e relativas ao produto final, são:

- será de boa legibilidade;
- apresentará o relevo com sombras naturais;
- satisfará as necessidades planimétricas para navegação aérea visual;
- as cores usadas serão similares às empregadas em cartas aeronáuticas;
- o custo por folha será reduzido de quatro vezes quando comparado com métodos convencionais.

Esse primeiro resultado animador fez com que o CNPq/INPE e a DEPV iniciassem a discussão de um convênio mais amplo, e que brevemente deverá ser celebrado entre as partes.

Para o caso da DSG a área escolhida foi a carta de Brasília, sendo o mosaico das imagens LANDSAT utilizado como base planimétrica e as informações de temas extraídas de mapas disponíveis na escala 1:1.000.000. A responsabilidade do trabalho adicional envolvido foi da DSG. Vários testes foram efetuados com a tentativa de obter um perfeito casamento das informações (vídeo) das imagens LANDSAT com as exis

tentes nos mapas utilizados. Os resultados não foram tão bons como o esperado, mas foram suficientes para mostrar que atualizações podem ser feitas nos mapas existentes, a partir de imagens LANDSAT, principalmente aquelas relacionadas com área urbana, rios e lagos, rede rodoviária e outras necessárias devido à dinâmica envolvida.

Mesmo assim, e levando em conta que resultados melhores poderiam ter sido obtidos com um maior controle do processo de retificação e impressão, o CNPq/INPE e a DSG decidiram assinar um convênio em 02 de setembro de 80 para a produção de cartas-imagem (completas e preliminares) do território brasileiro.

2.4 - SITUAÇÃO ATUAL DO PROCESSAMENTO "BULK"

O CNPq/INPE continua atualmente processando as imagens MSS da mesma forma e levando em consideração as mesmas correções geométricas anteriormente mencionadas, embora acreditando que a redução do erro interno atual, para torná-lo realmente compatível com mapas em 1:250.000, só possa ser possível com a utilização de pontos de controle e com o processo de precisão.

Além disso, outro fator divulgado pela NASA em setembro de 80 e não levado em conta até então por todos os países que mantêm sistema LANDSAT, está de modo direto influenciando a precisão geométrica das imagens MSS. O problema, denominado "light-source", é causado sempre que uma referência luminosa do satélite é mudada do modo A para B (no caso do LANDSAT-3 para minimizar um outro problema chamado "line shift"). E desde os lançamentos dos LANDSAT 1, 2 e 3 as mudanças de modo não são comunicadas aos países. No caso do LANDSAT-3, existe um erro de posicionamento de aproximadamente 2 km quando a fonte B é utilizada. No caso dos outros LANDSAT (1 e 2) este erro ainda está sendo avaliado.

Com isso, enquanto não estiver disponível uma tabela mostrando as mudanças de fonte, para cada satélite, e em função da data, não se pode, a priori, aplicar esta outra correção.

Até que estes dados estejam disponíveis, o CNPq/INPE de
cidiu interromper as pesquisas e experiências visando a redução do erro
interno no processo "bulk".

Para dar continuidade às atividades que visam aumentar a
utilização das imagens na área de Cartografia o esforço atual está sen
do direcionado para implementação final do processo de precisão, cujas
vantagens serão vistas a seguir.

No momento, imagens de precisão já estão sendo produzi
das pelo CNPq/INPE, dentro de uma fase denominada Teste e Avaliação.
Este produto deverá ser colocado à disposição dos usuários, de forma
operacional, possivelmente no início do próximo ano.

CAPÍTULO III

O PROCESSAMENTO DE PRECISÃO ("PRECISION") E AS EXPERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS

3.1 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO PROCESSAMENTO DE PRECISÃO

Geometricamente, as imagens MSS de precisão terão sua precisão de mapeamento melhorada em relação às imagens "bulk". Estas imagens serão produzidas a partir de transparências 9 1/2" e a melhoria na precisão é obtida através da utilização de pontos de controle de terra ("ground control points" - GCP's), identificáveis na imagem em questão. Para cada GCP deve-se fornecer como entrada ao sistema as suas coordenadas geodésicas e a altitude em relação ao nível do mar.

O processamento de precisão utilizará todas as correções já utilizadas no processamento "bulk", mais as correções provenientes de uma fita chamada PICT - "Precision Image Correction Tape", que descreveremos mais adiante.

As marcas de coordenadas (latitude e longitude) da imagem, no caso do processo de precisão, serão substituídas por valores em UTM (Universal Transverse Mercator).

Os efeitos de elevação do terreno serão levados em conta através da elevação média dos pontos de controle utilizados.

Pontos de controle de terra podem ser de três tipos:

- a) Absolutos: obtidos através de levantamentos geodésicos.
- b) De mapas: obtidos através de mapas. Neste caso, mapas na escala 1:50.000 ou maior são os mais convenientes.
- c) Relativos: obtidos através de imagens de garantida precisão.

Dado à baixa densidade de pontos de controle obtidos através de levantamentos geodésicos, especialmente fora das regiões densamente povoadas, espera-se que a grande maioria dos pontos de controle utilizados sejam pontos de controle de mapas, mesmo que provenientes de mapas de escalas menores, como 1:100.000.

Deve-se procurar escolher como pontos de controle acidentados geográficos do tipo: bifurcação de rios, cruzamento de estradas, cabeceiras de aeroportos, barragens, pontes, pequenas ilhas, os quais serão mais facilmente identificáveis na imagem MSS "bulk" que iniciará o processo.

O método matemático para geração das correções "precision" parte das diferenças entre as posições dos pontos de controle no mapa de referência e as posições dos pontos de controle observados (ou medidas) na cena "bulk", e avalia os coeficientes de uma função linear de "roll, pitch, yaw", e altitude, em relação ao tempo. A determinação dos coeficientes é feita através de uma "spatial resection" que exige, para o caso do MSS, um mínimo de 4 pontos de controle. Entretanto deve-se utilizar um número maior de pontos de controle para minimizar o erro residual de posicionamento obtido na transformação final.

Resumindo-se, as correções derivadas dos pontos de controle de terra dão origem a valores mais precisos de "roll, pitch, yaw" e altitude, que são, então, incluídos na fita de correções PICT. Esta fita será a fita de correções utilizada durante o processamento final da imagem, que será também, como no modo normal ("bulk"), na escala 1:3.704.000 (filme em 70 mm). O processo intermediário de ampliação para a escala 1:1.000.000 (filme em 9 1/2") é utilizado somente para permitir uma identificação mais precisa do ponto de controle.

Espera-se, como objetivo para a precisão geométrica obtida com o processo de precisão, um valor em torno de 100 metros RMS.

É oportuno mencionar aqui que as imagens de precisão são processadas cena a cena e o processamento é feito atualmente utilizando-se o mesmo sistema de computadores da produção "bulk". Estima-se que as tarefas descritas abaixo:

- a) processamento "bulk" (escala 1:3.704.000);
- b) ampliação fotográfica (escala 1:1.000.000);
- c) localização e medição de pontos de controle;
- d) geração da PICT; e
- e) processamento "precision" na escala 1:3.704.000

preenchem, em média, um turno de trabalho (8 horas), para uma única cena processada em precisão, com a consequente paralização total, durante este turno, das atividades da produção "bulk". Nestas condições, o processamento de precisão deverá ser executado somente em caráter especial, quando se dispuser de um número relativamente grande de pontos de controle e onde for necessário precisões de mapeamento da ordem de 100 metros.

3.2 - LIMITAÇÕES PRESENTES NO MODELO ATUAL DO INPE

Embora conhecendo-se as experiências e trabalhos desenvolvidos por outras agências no exterior, as características de hardware do atual sistema de processamento do INPE impedem que modelos sofisticados e que sempre exigem alto poder computacional sejam implementados.

Por outro lado, existem ainda melhorias que podem ser realizadas e que são função apenas de tempo de desenvolvimento de software e certamente estarão introduzidas, num futuro bem próximo.

Por exemplo, a determinação das marcas de coordenadas em UTM, na imagem de precisão, ainda contém imprecisões da mesma ordem de grandeza das existentes na imagem "bulk". Ou seja, as marcas em UTM das imagens geradas dentro do período de teste e avaliação do modo de pre

cisão deverão, do mesmo modo que as da imagem "bulk", ser consideradas apenas como referência. Modificações no software poderão levar em conta o próprio posicionamento dos pontos de controle para determinação final das marcas de coordenadas UTM.

Com relação ao vídeo propriamente dito, não se pode dizer que a imagem a partir do modo de precisão está projetada no plano do filme em uma projeção UTM. Na realidade, a imagem, no modelo atual, continua a ser projetada em perspectiva, como no modo "bulk", mas com a diferença de que os pontos de controle de terra são usados para a obtenção de valores mais precisos de atitude do satélite, distorcendo portanto a imagem "bulk". Assim, tentativamente, pretende-se colocar na imagem os pontos de controle em posição mais próxima possível à correspondente a sua posição geodésica. As limitações atuais do modelo para este posicionamento das GCP's são, além da própria projeção: simplificações matemáticas, imprecisões de cálculo, e as decorrentes da filosofia de geração de imagem no gravador EBIR, que usa uma grade 9x9 pontos de amarração dentro da área a ser gerada. (Com isso, apenas 81 pontos da área registrada da imagem são rigorosamente posicionados, os outros sendo linearmente ajustados entre eles). Estudos estão sendo atualmente desenvolvidos para minimizar algumas das limitações mencionadas acima e com isso melhorar ainda mais a qualidade geométrica final da imagem, objetivando com isso a sua completa compatibilidade com os mapas na escala 1:250.000 ou maior.

O novo sistema de processamento de imagens do INPE, a ser instalado no país em meados, de 1983, com o objetivo principal de manipular dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT-D, incorporará maiores facilidades de hardware e software que permitirão a geração de imagens de real precisão, como as hoje geradas nos EUA e Canadá. Maiores detalhes do novo sistema estão apresentados no Capítulo IV.

3.3 - ALGUNS RESULTADOS DO PROCESSAMENTO DE PRECISÃO NO EXTERIOR

Vários países, notadamente EUA e Canadá e, mais recentemente, Japão e África do Sul, estão utilizando de forma operacional o processamento de precisão na geração de imagens LANDSAT, com o objetivo de torná-las úteis como base planimétrica de cartas ou cartas-imagem na escala 1:250.000, e até mesmo 1:100.000.

Na realidade, vários modelos e procedimentos para um processo de precisão já estão disponíveis a algum tempo, nos países mencionados acima. Entretanto, todos modelos utilizam poderosos sistemas de computação, a falta dos quais impede a sua utilização no sistema atual do INPE.

Mesmo assim, apresentamos abaixo os resultados obtidos até agora pelo ERIM (Environmental Research Institute of Michigan) e EROS Data Center, ambos dos EUA, na área de processamento de precisão.

No EROS Data Center, através de seu Sistema de Processamento Digital, o processo de precisão é o seguinte:

- Primeiramente, pontos de controle de uma dada cena (órbita-ponto) são selecionados a partir dos melhores mapas disponíveis, sendo a localização geodésica de cada ponto digitalizada (este passo foi feito para 49 Estados dos EUA e várias áreas ao redor do mundo).
- Depois, o conjunto de pontos de controle deve ser correlacionado com a imagem LANDSAT que se quer corrigir. Para cada ponto de controle, uma janela ("window") de 32x32 pixels é definida sendo o centro correspondente à localização do ponto de controle no mapa. Esta janela produz a assinatura digital para o ponto de controle. Por dia, o EROS tem capacidade média de gerar janelas de pontos de controle para cerca de 3 imagens LANDSAT.

- Finalmente, a assinatura do ponto de controle deve ser digitalmente "casada" com a correspondente assinatura encontrada em cada cena, daquela mesma área, a ser processada. Obtém-se com isso registro entre bandas, entre cenas e entre cenas e mapas.

Este procedimento é feito para todas as imagens a serem processadas, a partir dos pontos de controles já disponíveis na base de dados. As projeções disponíveis para a geração das imagens são a HOM e a UTM e o valor do erro com a aplicação desse método pode chegar a 50 metros (inferior a 1 pixel MSS).

No ERIM, várias técnicas ao longo dos anos foram testadas, principalmente com o objetivo de produzir cartas-imagem confiáveis de países pobremente mapeados. Várias técnicas estão disponíveis e hoje conhecidas como Modelo de Correção Linear, Modelo de Correção não-Linear, e Modelo Rígido de Correção não-Linear. Os três modelos apresentam vantagens e desvantagens em relação à necessidade de uma utilização maior ou menor de pontos de controle na imagem, ou a eliminação ou não de distorções não-lineares ou em relação ao custo de processamento. O ERIM está no momento trabalhando para refinamento do Modelo Rígido não-Linear.

Diversos experimentos foram e ainda estão sendo conduzidos em países da África e Ásia para a produção de cartas-imagem na escala 1:200.000 e 1:250.000. Registro entre imagens têm sido obtidos com erros da ordem de 100 metros (rms).

Em alguns casos, e dependendo do número de imagens incluídas no mosaico para cobrir a área de uma carta, e da própria precisão do ponto (por exemplo, se estações doppler para determinação das coordenadas do ponto foram utilizadas ou não) obtiveram-se valores da ordem de 65 metros (rms).

CAPÍTULO IV

O LANDSAT-D E O NOVO SISTEMA DE PROCESSAMENTO DO INPE

4.1 - CARACTERÍSTICAS DO "THEMATIC MAPPER"

O LANDSAT-D, o novo satélite experimental para recursos terrestres, está planejado para ser colocado em órbita em agosto de 82. Dois sensores, estarão a bordo deste satélite (e seu reserva). O sensor principal será o *Thematic Mapper (TM)*, que possui com "back-up" o mesmo MSS que esteve a bordo dos LANDSATs 1, 2 e 3. O sensor de vidicon RBV não será mais utilizado nessa próxima geração de satélites.

O Mapeador Temático (TM) foi projetado para satisfazer especificações e exigências de desempenho muito mais rigorosa do que aquelas aplicadas anteriormente a instrumentos deste tipo. Assim, os materiais e estruturas nele utilizados, dispositivos eletrônicos, técnicas de controle, mecanismos de calibração, circuitos de processamento de dados, etc., representam uma nova e avançada geração de sensores de recursos terrestres, bem mais sofisticadas do que a representada pelo seu antecessor MSS.

Em termos quantitativos, esta superior sofisticação do TM em relação ao MSS se refletirá sobre os seguintes aspectos: melhor resolução espacial, maior número de bandas (canais) com respostas espectrais mais bem definidas, alta precisão e melhor resolução radiométrica, técnicas de calibração a bordo mais sofisticados, e grande fidelidade geométrica.

A "performance" do TM foi estabelecida principalmente com base na experiência adquirida na operação do MSS, no esforço do grupo técnico do projeto em definir necessidades dos usuários, e na criteriosa análise de compromisso dos padrões de desempenho exigidos versus factibilidade tecnológica.

O LANDSAT-D será colocado em uma órbita circular, síncrona com o Sol, a 705 km de altitude, atingindo um ciclo de repetibilidade de 16 dias. Seu cruzamento com o Equador, no sentido norte-sul, se dará às 9:30 horas, local.

A altitude do LANDSAT-D é menor do que a dos três primeiros satélites da série, a fim de permitir a sua recuperação e relançamento pelo Space Shuttle.

O tamanho do menor elemento de informação (pixel) no TM é 30 x 30 metros comparado com o de 80 x 80 metros no MSS. Com essa resolução, agora, a maioria dos pequenos campos agrícolas poderão ser precisamente caracterizados.

As sete bandas espectrais do LANDSAT-D são vista na Tabela IV.1

TABELA VI.1

BANDAS DO "THEMATIC MAPPER"

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL
1	0,45 a 0,52 μm
2	0,52 a 0,60 μm
3	0,63 a 0,69 μm
4	0,76 a 0,90 μm
5	1,55 a 1,75 μm
6	10,4 a 12,5 μm (termal)
7	2,08 a 2,35 μm

A enorme potencialidade desta nova geração de satélites, conforme análise levada a efeito por uma equipe de pesquisadores da NASA, pode ser estimada em função do quadro de explicações da Tabela IV.2.

TABELA VI.2

APLICAÇÕES PRINCIPAIS DO TM

BANDA	APLICAÇÕES PRINCIPAIS
1	● Mapeamento de águas costeiras. Diferenciação solo/vegetação
2	● Detecção de radiação verde refletida pela vegetação saudável.
3	● Detecção de absorção de clorofila para diferenciação entre espécies de plantas.
4	● Pesquisas em biomassas. Delineação de corpos suspensos em água.
5	● Medição de conteúdo de umidade de vegetação.
6	● Medição do grau de "stress" das plantas pelo calor. Mapeamento térmico em geral.
7	● Mapeamento hidrotermal. Mapeamento Geológico em geral.

Deve ser ainda colocada em evidência a enorme potencialidade do novo instrumento, em termos de aplicações cartográficas, pois o Mapeador Temático possibilitará, em definitivo, a operacionalização do novo e revolucionário conceito o mapeamento automático da Terra, a nível orbital - resultado direto dos sofisticados equipamentos para calibração interna do satélite em órbita, bem como para seu preciso posicionamento. Assim, em termos de fidelidade geométrica, a Tabela IV.3 a baixo ilustra o significativo avanço do TM, relativo ao seu antecessor MSS.

TABELA IV.3

PRECISÕES GEOMÉTRICAS EM MSS/TM - PROCESSO "BULK"

	PRECISÃO GEOMÉTRICA INTERNA(*)	PRECISÃO GEOMÉTRICA ABSOLUTA(*)
LANDSATs 1,2,3/MSS	≈ 100 metros (rms)	2.000 metros (rms)
LANDSAT D/TM	≈ 30 metros (rms)	200 metros (rms)

(*) Precisão Geométrica Interna - é a precisão dentro da qual é possível determinar a posição de um ponto na imagem, em relação a um outro ponto pré-escolhido da mesma imagem, no sistema de projeção adotado.

Precisão Geométrica Absoluta - é a precisão dentro da qual é possível relacionar um ponto na imagem com sua posição real no solo, em termos de coordenadas geográficas, dentro do sistema de projeção adotado (precisão dos "tick-marks").

Os produtos TM "precision", produzidos com a utilização de pontos de controle de terra, necessitarão um número muito menor destes pontos em relação ao que era requerido para o MSS, e as precisões interna e absoluta para estes produtos poderão atingir de 10 a 15 metros no solo. Isto se deve ao fato do satélite *LANDSAT-D* ser muito mais estável em órbita que todos os seus antecessores. Esta grande estabi

lidade orbital e de atitude resultará em *mínimas distorções internas* nas imagens.

Com os dados da futura série de satélites será possível, com um mínimo de tempo de processamento, a obtenção de bases planimétricas em escalas de até 1:50.000.

4.2 - O SISTEMA DE PROCESSAMENTO DO INPE

O INPE, em maio de 1980, como resultado de uma concorrência internacional, selecionou duas companhias, uma americana (Scientific Atlanta) e outra francesa (SEP - Sociêtê Européenne de Propulsion), para o fornecimento de um sistema de aquisição, gravação e processamento de dados TM do LANDSAT-D. Esse novo sistema é necessário devido ao volume e às taxas de dados substancialmente maiores dos futuros sensores em relação aos atuais, conjugados à necessidade de um rastreamento bem mais preciso para garantir a recepção desses dados. O INPE está participando do desenvolvimento e integração desse sistema junto às companhias fornecedoras principalmente na parte de "software".

Os subsistemas de aquisição e gravação deverão ser entregues em julho de 1982 (antes do lançamento do LANDSAT-D, portanto) e o de processamento, no primeiro semestre de 1983.

Este novo sistema, além das características necessárias para atender aos requisitos de taxa e volume de dados, incorporará melhoramentos e possibilidades adicionais com relação ao sistema atualmente em funcionamento. Entre eles, pode-se contar, na parte de recepção e gravação, com:

- o rastreamento assistido por computador para reaquisição rápida, no caso de perda do satélite durante a passagem próxima ao zênite;

- o monitoramento em tempo real de vídeo adquirido, em tela de TV, para maior facilidade e rapidez na detecção e correção de eventuais problemas;

e, na parte de processamento:

- a capacidade de produção de imagens preliminares de baixa resolução e baixo custo ("quick-look"), visando principalmente a catalogação da qualidade e da cobertura de nuvens das imagens adquiridas, para posterior processamento em alta resolução, apenas das imagens com bom potencial de utilização. Além deste aspecto de redução de custos, as imagens "quick-look" poderão ser solicitadas como produto mais econômico (ou examinadas nos centros de atendimento) para seleção dos produtos de alta resolução a requisitar, principalmente nos casos de cobertura de nuvens superior a 20-30%;
- o equipamento gerador de imagens em filme de alta resolução (o gravador de filme por feixe eletrônico), além de ter eliminadas ou minimizadas algumas limitações do seu antecessor, principalmente quanto à precisão e estabilidade, é de formato maior, gravando imagens em filme de 140 mm de largura, ao invés de 70 mm. Isso permitirá ampliações até escalas maiores sem perda de qualidade;
- o novo sistema contará com capacidade de armazenamento "on-line" de uma cena inteira (7 bandas), em resolução plena, e um monitor de imagens para visualização das imagens armazenadas, em forma interativa. Isso permitirá toda uma série de manipulações de imagem que não são possíveis no sistema atual, como realces, filtros espaciais, remoção de defeitos, combinações especiais de bandas espectrais, etc., assistidos ou não por operador, nas passíveis de avaliação visual antes de transformações em produto.

Os produtos do novo sistema, além das imagens "quick look" já mencionadas, incluirão imagens de alta resolução em forma fotográfica e em fitas compatíveis com computador (CCTs). Graças à existência da banda 1 (azul-verde), será possível, no campo das composições coloridas, obter imagens com colorido próximo ao natural, além das tradicionais imagens em falsa-cor. A possibilidade de manipulação prévia dos dados de vídeo permitirá também uma ampla gama de realces especiais em cor, como "level-slicing", quociente entre bandas, etc., além dos tratamentos já tradicionais como equalização de histogramas, remoção de névoa, realce de bordas, etc.

Com relação à geometria das imagens, o sistema, da maneira como será recebido, efetuará apenas correções "bulk", ou seja, levará em conta somente os dados disponíveis quanto aos parâmetros orbitais e de atitude do satélite. Devido às severas especificações do mesmo, quanto à estabilidade em órbita e precisão de apontamento, espera-se que erros internos menores que 45 m no solo sejam conseguidos, em média, apenas com esses dados.

A capacidade para gerar imagens de precisão com pontos de controle terrestre depende apenas da geração do "software" adequado, que será desenvolvido no INPE, após o recebimento do sistema. Graças à disponibilidade do armazenamento "on-line" de imagens, e ao poder computacional do sistema, técnicas semi-automatizadas de correlação de imagens com um banco de pontos de controle terrestre, poderão ser aplicadas ao processo de forma a reduzir substancialmente o tempo hoje necessário para a produção de uma imagem de precisão, bem como possibilitar um aumento significativo no grau de precisão geométrica das mesmas.

CAPÍTULO V

FUTUROS SATÉLITES ARTIFICIAIS, AINDA NA DÉCADA DE 80, VOLTADOS PARA O MAPEAMENTO

Vários países estão no momento desenvolvendo estudos, ou estão em fase de fabricação, para o lançamento, ainda na década de 80, de satélites artificiais para o levantamento de recursos naturais, com a consequente potencialidade de mapeamento, sendo que alguns apresen tam características que permitirão à comunidade a utilização imediata de seus dados na área de cartografia convencional.

Entre esses países, pode-se citar o Japão, com o seu progra ma de satélites de observação do mar e da terra, chamados MOS (Marine Observation Satellite, sendo que o primeiro será lançado em meados de 1985), e LOS (Land Observation Satellite); o Canadá, com seu progra ma de radar (SAR) a bordo de satélite, desenvolvido a partir de expe riências e resultados obtidos com os dados do SEASAT, sendo 1987 a data prevista para o lançamento do primeiro satélite; os países europeus, através da ESA (European Space Agency), com o seu programa também de rada r (SAR), denominado ERS, com data prevista para o lançamento do prime iro satélite no segundo semestre de 1986; os EUA com o seu programa LANDSAT, que a partir de 1985 já deverá ter características operaciona is, fornecendo dados dos sensores MSS e TM até o final da década de 80, e o programa MAPSAT para obtenção de cobertura estereoscópica, sendo que o primeiro satélite poderá ser lançado entre 1986 e 1988, e a França, com o seu programa SPOT de observação terrestre e capacidade de obtenção de dados com estereoscopia, sendo que o lançamento do primeiro satélite da série está previsto para meados de 1984.

O Brasil, no momento, também vem desenvolvendo estudo para o futuro lançamento de satélites artificiais de aplicações espaciais (meteorologia e sensoriamento remoto) ainda nesta década. Esses estu dos fazem parte da Missão Espacial Completa, cuja aprovação já foi dada

de pela Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), órgão de assessoramento da Presidência da República.

Abaixo, apresentam-se algumas características dos satélites MAPSAT e SPOT (dados do LANDSAT-D já foram apresentados no Capítulo IV) que, a curto prazo, poderão trazer contribuições significativas para a área de cartografia convencional.

5.1 - O MAPSAT

O programa MAPSAT, desenvolvido sob a responsabilidade do U.S. Geological Survey, tem como objetivo o lançamento de satélites de mapeamento automatizado, iniciando a série entre 1986 e 1988.

O MAPSAT é baseado no programa LANDSAT, incluindo a órbita original dos LANDSATs e os conceitos de comunicação, mas indo além das atuais necessidades da comunidade de usuários. Será disponível, por exemplo, uma resolução de 10 metros tanto nos modos estereoscópico como monoscópico. Um alto grau de automação na extração de informações topográficas será atingido como resultado da estabilidade da plataforma, da determinação da atitude e do avanço da tecnologia de sensores.

Resumidamente, o MAPSAT tem as seguintes potencialidades:

- cobertura mundial, de forma contínua, durante um longo período;
- resolução e faixa de observação variáveis;
- capacidades estereoscópica e multispectral;
- capacidade de mapeamento na escala 1:50.000.

Embora o nome MAPSAT esteja relacionado com sistema de mapeamento, isto não significa que o satélite servirá somente para cartógrafos. A precisão geométrica, essencial para o cartógrafo, é também importante para um sistema operacional de imageamento da Terra. Disciplinas como a Geologia, Hidrologia, Agricultura e Geologia têm provado a necessidade de dados multispectrais de precisão compatível com mapeamento.

O MAPSAT atingirá alta fidelidade geométrica pela própria definição do satélite e pelo sistema sensor, os quais não terão partes ou peças se movendo, e precisa determinação da sua posição e atitude. O sistema sensor é baseado na tecnologia "solid-state linear arrays", as antenas serão rígidas e os painéis solares, definidos de forma a permanecerem rígidos durante a fase da aquisição de dados. Estes conceitos de precisão permitirão ao MAPSAT atingir valores de geometria muito além dos atingidos pelo LANDSAT, ou qualquer sistema alternativo eletro-ótico da atualidade.

Seis modos de aquisição, comandados pelo Centro de Controle, serão possíveis, como mostra a Tabela V.1.

TABELA V.1

MODOS DE AQUISIÇÃO DO MAPSAT

MODOS	REGIÃO ESPECTRAL	MODO TOPOGRÁFICO	RESOLUÇÃO	LARGURA DE OBSERVAÇÃO
a	Pancrom.	Estereosc.	Total	Reduzida
b	Pancrom.	Estereosc.	Reduzida	Total
c	Multispec.	Estereosc.	Total	Reduzida
d	Multispec.	Estereosc.	Reduzida	Total
e	Pancrom.	Monosc.	Total	Total
f	Multispec.	Monosc.	Total	Reduzida

Resolução Total = 10 metros

Resolução Reduzida = entre 50 e 100 metros

Largura de Observação Total = 180 km

Largura de Observação Reduzida < 180 km

Três bandas espectrais estarão disponíveis:

- no azul-verde - 0,47 a 0,54 μm
- no verde-vermelho - 0,57 a 0,70 μm
- no infravermelho próximo - 0,76 a 1,05 μm

Uma banda termal, embora fosse importante, não foi considerada apropriada para o MAPSAT, já que iria gravar a energia solar refletida.

A cobertura estereoscópica será obtida por sistemas múltiplos de imageamento: um observando verticalmente (o qual fornece a possibilidade básica multiespectral), e dois observando à frente e atrás, inclinados de 23° em relação a vertical.

A importância do imageamento estereoscópico não termina com as aplicações de mapeamento topográfico. O modo estereoscópico fornecerá dados para a produção automática de dados digitais de elevação, os quais representam uma nova e poderosa ferramenta de análise do solo terrestre, extremamente útil em interpretações geológicas, ou para os dados que necessitam de precisão radiométrica (dados de elevação podem ser usados para a determinação da correta inclinação e correção de aspecto dos dados gravados).

Além disso, o MAPSAT está projetado para adquirir um fluxo de dados unidimensional para cada detetor do "linear array". Assim, os dados de cada um dos milhares de detetores poderão ser processados por simples computadores, reduzindo o tempo e o custo do processamento envolvido; sua vida útil esperada situa-se entre 3 a 5 anos.

No momento, o estudo de viabilidade do MAPSAT, concluído em janeiro deste ano, está nas mãos da NASA e da NOAA, para considerações.

5.2 - SPOT

O programa SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), concebido e projetado pela Agencia Espacial Francesa (CNES) a partir de 1977, tornar-se-á realidade a partir de meados de 1984, quando o primeiro satélite será lançado.

O satélite SPOT consite em duas partes: uma plataforma para múltiplas utilizações e uma carga útil. Esta plataforma executará as funções básicas de controle de órbita, estabilização, energia, transmissão de dados de telemetria, monitoramento e programação da carga útil, e oferecerá a possibilidade do lançamento de outros satélites de tipo similar, sem novos gastos envolvidos no desenvolvimento de uma nova plataforma. A carga útil incluirá os instrumentos de observação, dois gravadores de bordo e um transmissor de telemetria.

No SPOT-1, os instrumentos de observação serão dois imageadores de alta resolução no visível (HRV - High Resolution Visible).

O peso total do satélite é da ordem de 1750 kg, no início de sua vida. Ele operará em uma órbita quase-polar (98,7° de inclinação), circular e síncrona com o Sol, a uma altitude de 832 km. Suas dimensões são 2 x 2 x 3,5 metros, atingindo 15,60 metros com os painéis solares abertos.

Os instrumentos HRV foram projetados para operar em dois modos distintos (pancromático e multispectral), no visível e no infravermelho próximo.

A Tabela V.2 apresenta as faixas espectrais cobertas em cada um dos modos, os intervalos de observação (tamanho do "pixel"), e o número de "pixels" por linha.

TABELA V.2

FAIXAS ESPECTRAIS DO SPOT

HRV	MODO MULTISPECTRAL	MODO PANCROMÁTICO
bandas	0,50 a 0,59 μm 0,61 a 0,68 μm 0,79 a 0,89 μm	0,51 a 0,73 μm
"pixel"	20 x 20 metros	10 x 10 metros
Nº "pixels" por linha	3.000	6.000

A definição dos tamanhos de "pixel" em ambos os modos de operação baseou-se na existência de pequenos campos agrícolas, em muitas partes do mundo, e também para satisfazer algumas aplicações cartográficas.

Além disso, um espelho plano, cuja orientação é definida pelo Centro de Controle, pode ser comandado para cobrir um intervalo de $\pm 27^\circ$ em relação à vertical do nadir. Essa inclinação permite ao instrumento imagear qualquer ponto dentro de uma faixa de 475 km, em ambos os lados da órbita do satélite.

Os dois HRV podem ser comandados para cobrir áreas adjacentes de 60 km. Com isso, a faixa de observação é de 117 km, com um "overlap" de 3 km. Considerando-se que no Equador o espaçamento entre órbitas adjacentes é 108 km, uma completa cobertura da Terra poderá ser obtida com os instrumentos nesta posição, a cada 26 dias.

Um computador de bordo, comandado pelo Centro de Controle, poderá, entretanto, reorientar o espelho e variar os modos de operação (pancromático ou multispectral), dentro de uma mesma órbita.

Porém, o intervalo de 26 dias é inaceitável para a observação de vários fenômenos, principalmente se for considerado o efeito de cobertura de nuvens.

Dependendo da latitude geográfica da área de interesse, e considerando-se a possibilidade de reorientar o espelho de bordo, essa dada área poderá ser observada em diferentes dias, durante o período de 26 dias. Por exemplo, se for no Equador, a área poderá ser observada sete vezes, através de sete órbitas distintas; se for na latitude 45° , a área poderá ser observada onze vezes.

Com isso, torna-se possível a obtenção de pares de imagens com estereoscopia, isto é, imagens de uma dada área podem ser obtidas de diferentes ângulos de observação durante sucessivas órbitas do satélite.

Sem dúvida nenhuma, a possibilidade de reorientação do espelho, com a consequente estereoscopia, e a alta resolução de 10 metros são as duas maiores inovações desse satélite.

A altitude orbital do satélite e sua inclinação determinam o cruzamento no Equador às 10:30 horas (tolerância de ± 15 minutos), enquanto uma órbita será repetida dentro de um deslocamento máximo de ± 5 km em relação ao valor nominal.

A Estação de Controle será instalada em Toulouse (França) e, através de acordos com a CNES, outros países poderão ter acesso aos dados desse satélite. A distribuição desses dados pela França estará sob a responsabilidade da companhia SPOT-Image, recentemente criada.

Vários produtos estarão disponíveis e comercializados pela SPOT-Image. Tais produtos encontram-se agrupados abaixo por tipo de processamento.

Tipo 1 - Este tipo de processamento consiste na aplicação de cor
ções radiométricas e geométricas básicas (este tipo não
envolve GCPs ou dados restituídos de atitude do satêli
te).

Tipo 1a - Este tipo de processamento consiste na equalização dos de
tores para levar em conta os seus fatores de calibração
em cada banda espectral.

Tipo 1b - Este tipo inclui as correções do tipo 1a e uma correção
radiométrica para levar em conta os movimentos do satêli
te, além de correções geométricas para rotação da Terra,
curvatura e ângulo de observação. Neste tipo de processa
mento, a reamostragem é efetuada em ambas as direções (li
nhas e colunas).

Tipo 2 - Este tipo inclui as correções necessárias para atingir
o registro temporal ou o registro de imagens sobre mapas.
Este processamento envolve as correções geométricas bi
dimensionais, baseadas em GCPs de coordenadas geogrâfi
cas precisamente conhecidas. Como essas correções não in
cluem compensações para o relevo, o registro é melhor ob
tido quando os ângulos de observação estão proximos do
nadir.

Tipo 3 - Este tipo inclui as correções adicionais e necessárias,
usando modelos digitais de terreno, para eliminar efe
tos parallax. Este processamento adicional, o qual resulta
em produtos do tipo ortofotográficos, pode ser efetuado
para imagens obtidas através de qualquer ângulo de obser
vação.

Os produtos serão disponíveis através de CCTs, ou em fil
mes de 241 mm - na escala 1:400.000.

Estudos de mercado conduzidos pela CNES prevêm que uma ce na SPOT poderia ser vendida por cerca de US\$ 500.00. Além disso, a CNES acredita que se o preço da cena SPOT for estabelecido em torno de 1FF/km² (0,2 US\$/km²), esses dados poderão concorrer diretamente com a fo tografia aérea de alta altitude (preço entre 10 a 15 FF/km² ou seja, 2 a 3 US\$/km²).

A vida esperada do SPOT-1 é de 2 anos, estando em constru ção o satélite reserva. Satélites adicionais estão ainda em estudo, com o objetivo de garantir a disponibilidade de dados por um período não inferior a 10 anos.

Segundo a CNES, as seguintes aplicações serão possíveis através das imagens do SPOT-1:

- estudo de uso da terra;
- monitoramento de recursos renováveis;
- auxílio na exploração mineral e de petróleo;
- trabalhos cartográficos em média escala (1:100.000);
- atualizações cartográficas de mapas na escala 1:50.000.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora considerando-se as limitações existentes no atual sistema de processamento de dados LANDSAT do CNPq/INPE e as restrições apresentadas neste trabalho, tem-se certeza que esses dados podem ser utilizados de modo mais efetivo na área de cartografia.

Se no modo de processamento "bulk" a precisão geométrica obtida nas imagens processadas no país não é considerada satisfatória por alguns, em comparação com a obtida em outros países, deve-se lembrar que, em parte esse problema é função da pouca disponibilidade de mapas atualizados na escala 1:50.000 ou maior, dos quais poderiam ser extraídos pontos de controle de Terra, que permitiriam a possível correção de erros sistemáticos do sistema (satélite + processamento).

O modo de precisão, atualmente em fase de teste e avaliação, poderá gerar imagens com erros compatíveis para a sua utilização como base planimétrica de cartas na escala 1:250.000. Entretanto, e novamente dada a necessidade de mapas atualizados na escala 1:50.000, somente onde existirem tais mapas será possível a aplicação deste modo de precisão. Uma alternativa para a utilização deste modo de processamento em regiões ainda não mapeadas na escala 1:50.000 seria a obtenção de pontos de controle (através de estações tipo "doppler") em locais identificáveis nas imagens LANDSAT. Para tanto, seria necessário que os órgãos responsáveis pela cartografia no país, possuidores de equipamentos para localização precisa de coordenadas, se interessassem por tal produto, efetuando-se a necessária coordenação com o CNPq/INPE.

Hoje, com os esforços realizados nessa área de utilização de dados de satélite para fins cartográficos, e com o consequente "know-how" adquirido, o CNPq/INPE acha-se capacitado para realizar trabalhos de maior nível de sofisticação, que certamente serão requeridos num futuro bem próximo, com o lançamento de satélite projetados não só

para o levantamento de recursos naturais, como também para a solução de alguns problemas cartográficos da atualidade.

O CNPq/INPE, continuando os trabalhos e pesquisas nessa área, acredita estar dando valiosa contribuição para a solução de problemas nacionais, utilizando modernas técnicas espaciais.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Eng. José Luiz de Barros Aguirre, chefe da Divisão de Distribuição do CNPq/INPE, a colaboração na redação do Capítulo IV e ao Eng. Sérgio de Paula Pereira, chefe da Divisão de Processamento do CNPq/INPE, as sugestões e revisões efetuadas no texto deste trabalho.

O autor agradece também aos Engenheiros Paulo Roberto Martins Serra e Miguel Dragomir Zanic' Cuellar, da Divisão de Processamento do CNPq/INPE, os trabalhos de suporte e teste das imagens LANDSAT de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR & COSMOS (HEBDOMADAIRE DE L'ACTUALITÉ AEROSPACIALE ET DES TECHNIQUES AVANCÉE). França, La Compatibilité de "SPOT" avec "LANDSAT D" fera de la France l'un des principaux fournisseurs de données de télédétection, mars 1981.

BARBOSA, M.N. et al - *Proposta Técnica-Financeira para o Projeto LANDSAT-D*, São José dos Campos, INPE, fev. 1980. (INPE-1682-PPR/049).

BARBOSA, M.N. et al - *Um novo produto do INPE: A Imagem do Satélite LANDSAT produzida para utilização conjunta com Imagens de Radar*, São José dos Campos, INPE, nov. 1978.

DIRETORIA DE ELETRÔNICA E PROTEÇÃO AO VÔO (DEPV) - MIN. AERONÁUTICA. LANDSAT Images as Planimetric Bases for Aeronautical Charts, Hamburgo, Alemanha Ocidental (14º Congresso da Sociedade Internacional de Fotogrametria), jul. 1980.

ITEK CORPORATION USA. USA, Conceptual Design of Automated Mapping Satellite System (MAPSAT), Feb. 1981.

LANDSAT DATA USERS NOTES. USA, NASA e USGS, 1979 - 1981, Bimestral.

PARADA, N.J. et al - *Brazilian Satellite Remote Sensing Program - Selected Recent Applications*, São José dos Campos, INPE, Apr. 1981, (INPE-2036-RPE/293).

WILSON, C.L. - *Landsat Derived Maps of Poorly Mapped Areas*, Cambridge, Massachusetts, USA, July 1980.

WORK OF COMMITTEE III - AUTOMATED CARTOGRAPHY, THEMATIC AND SMALL-SCALE MAPPING, NATIONAL ATLASES AND STANDARDIZATION OF GEOGRAPHICAL NAMES, Mexico, Sept. 1979, (E/CONF.71/C.III/L.1, ONU) - Economic and Social Council, Second UN Regional Cartographic Conference for the Americas.